

Г. В. Шимов^{*}, Д. С. Ковин, Р. В. Фоминых, А. А. Богатов

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

^{*}geosh@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЗАПОЛНЕНИЯ ФОРКАМЕРЫ ПРИ ПРЕССОВАНИИ МЕДНОЙ ШИНЫ НА ЛИНИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭКСТРУЗИИ «CONFORM-400»

В работе проведено моделирование в пакете DEFORM-3D начальной стадии заполнения форкамеры при прессовании медной шины на линии непрерывной экструзии «CONFORM-400». Исследован характер течения металла в очаге деформации при нестационарном режиме прессования. Сделан анализ скорости заполнения мертвых зон форкамеры.

Ключевые слова: конформ, непрерывная экструзия, медные шины, форкамера, МКЭ-моделирование.

G. V. Shimov, D. S. Kovin, R. V. Fominykh, A. A. Bogatov

MODELING OF THE INITIAL STAGE OF THE PRECHAMBER FILLING WHILE COPPER BUSBARES PRESSING ON THE CONTINUOUS EXTRUSION LINE "CONFORM-400"

FEM simulation of the initial stage of the prechamber filling while copper busbares pressing the on the continuous extrusion line "CONFORM-400" was carried on the DEFORM-3D. The formation of the metal flow in the deformation zone under the nonstationary pressing regime is studied. An analysis is made of the filling rate of the dead zones of the prechamber.

Keywords: conform, continuous extrusion, copper busbars, lamination, surface blowhole, FEM simulation.

ВВЕДЕНИЕ

Технология непрерывной экструзии CONFORM, предложенная Д. Грином в 1970 г. имеет ряд технических и экономических преимуществ, а также широкую сферу применения, причем особенно перспективной технология представляется в цветной металлургии [1].

Установки CONFORM с расширяющейся форкамерной матрицей (форкамерой) в настоящее время широко применяются для непрерывного прессования профилей из цветных металлов и сплавов, в том числе и в России, например, на Каменск-Уральском заводе ОЦМ при производстве медных шин из медной заготовки UPCUST [2]. Изучением технологии

Conform и поиском оптимальных режимов прессования занимаются ученые по всему миру [3–6].

Из практики работы линий непрерывной экструзии известно, что от 2 до 6 метров пресс-изделия необходимо отпрессовать для полного заполнения форкамеры и перехода к установившемуся режиму (до момента начала получения годной продукции). На стадии заполнения форкамеры пресс-изделие выходит из матрицы рваное с дефектами с окисленными включениями и отправляется в переплав. От массы металла, необходимого для запуска линии зависит общий процент выхода годного, поэтому изучение нестационарной стадии прессования является актуальным.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью анализа течения металла в очаге деформации было проведено МКЭ-моделирование прессования медной шины размером 8 x 62 мм из заготовки диаметром 20 мм в программном комплексе DEFORM-3D. Чертежи и размеры инструмента полностью соответствовали реальной машины «CONFORM-400» ОАО «КУЗОЦМ». Инструментальный узел прессования в сборе приведен на рис. 1.

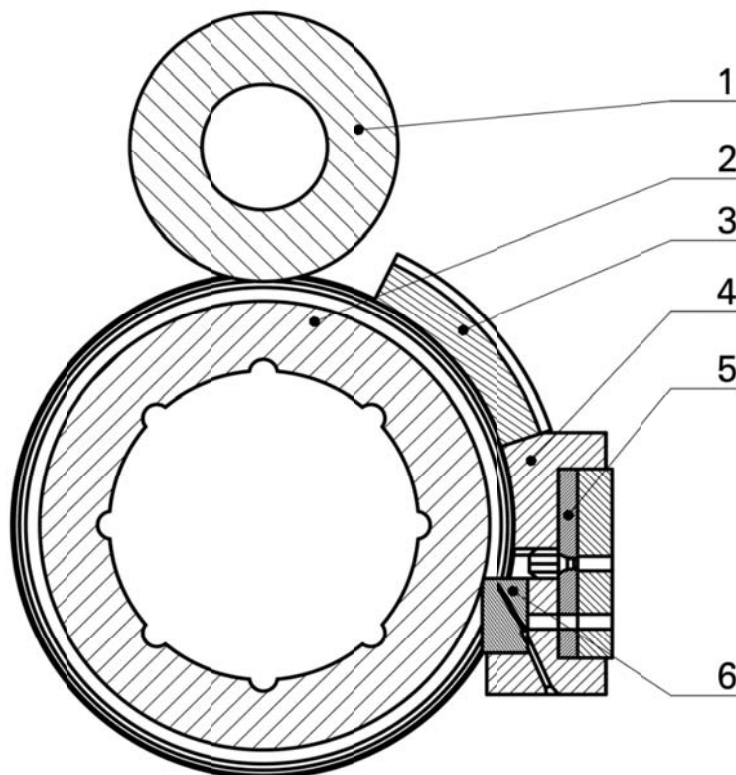


Рис. 1. Инструмент прессования ЛНЭ «CONFORM-400»:
1 – прижимной ролик; 2 – колесо; 3 – задвижка; 4 – матричный узел с форкамерой;
5 – матрица; 6 – упор

Основными технологическими параметрами настройки машины являются скорость вращения колеса и величина облойного зазора. При моделировании скорость прессования устанавливалась 5,4 об/мин. Величина облойного зазора между упором и колесом была выбрана $h = 0,6$ мм (по рекомендациям предприятия). Регулировкой скорости прессования и зазора можно влиять на энергосиловые параметры прессования, а также на качество прессуемой продукции. Увеличение скорости прессования либо уменьшение зазора приводит к повышению температуры в очаге деформации и загрузки машины, что отрицательно влияет на качество получаемой шины, а также может привести к повышенному износу инструмента.

При постановке задачи были учтены реологические свойства реальной бескислородной меди. Кривые упрочнения меди ($\text{Cu} = 99,996 \%$, $\text{O}_2 = 3 \text{ ppm}$) были выбраны из существующей библиотеки материалов – C10100, как наиболее близкого по химическому составу. Позиционирование заготовки и инструмента после постановки задачи приведено на рис. 2. Сетка конечных элементов выбиралась из соображений повышения точности расчетов и имеет около 500 000 элементов. В очаге деформации установлено окно плотности с размером элемента 0,2 мм.

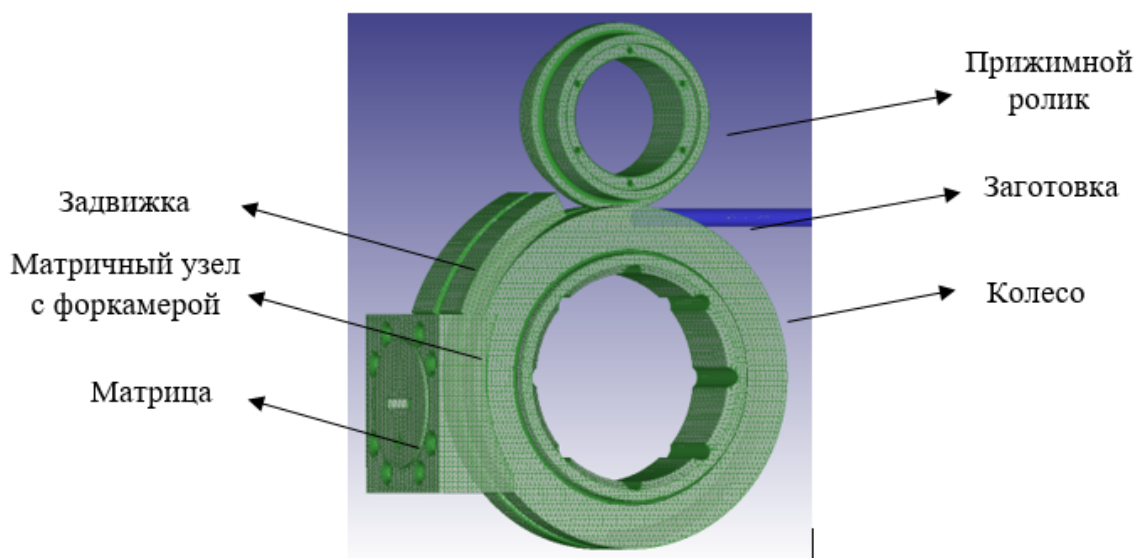


Рис. 2. Позиционирование заготовки и инструмента после постановки задачи в DEFORM-3D

Поскольку из-за особенностей деформированного состояния процесс прессования сопровождается постоянным перестроением сетки конечных элементов, время расчета задачи даже в пластические постановки составило около 700 часов. Такое время расчета оправдано высокой точностью моделирования при заполнении мертвых зон форкамеры и расчете точного времени перехода к стационарному режиму.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате моделирования были установлены характерные особенности течения металла в очаге деформации. На рис. 3 показано поле распределения скоростей движения частиц на поверхности форкамеры. Характер течения металла на нижней грани форкамеры и на верхней идентичен, отличие заключается только в том, что в первом случае металл с контакта «колесо-металл», встречая на пути упор начинает течь вдоль нижней грани форкамеры в направлении прессования, а во втором случае поверхностные слои заготовки с контакта «ролик-металл» наоборот затягиваются в центральные зоны форкамеры.

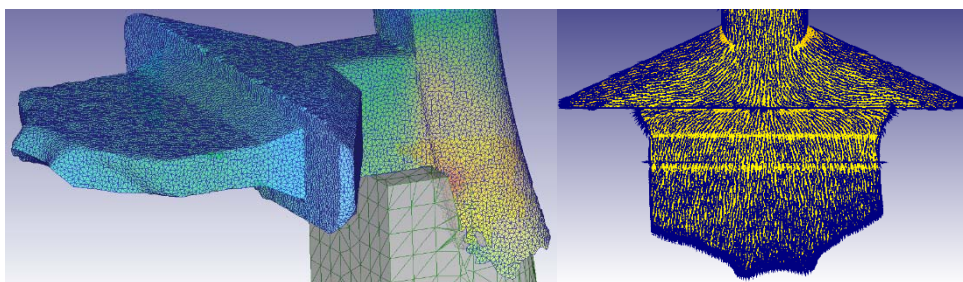


Рис. 3. Поле скоростей течения частиц металла на верхней грани форкамеры

В ходе моделирования установлено, что в желобе колеса имеются мертвые зоны (рис. 4, а, 1). Как и в любой мертвой зоне в ней могут скапливаться окислы, включения, грязь, попадающие в форкамеру с заготовкой, и в дальнейшем загрязнять пресс-изделие. Анализируя траектории движения металла в форкамере, можно констатировать, что с высокой долей вероятности в случае перехода загрязнений из мертвой зоны в форкамеру, они проявятся именно под поверхностью готовой шины.

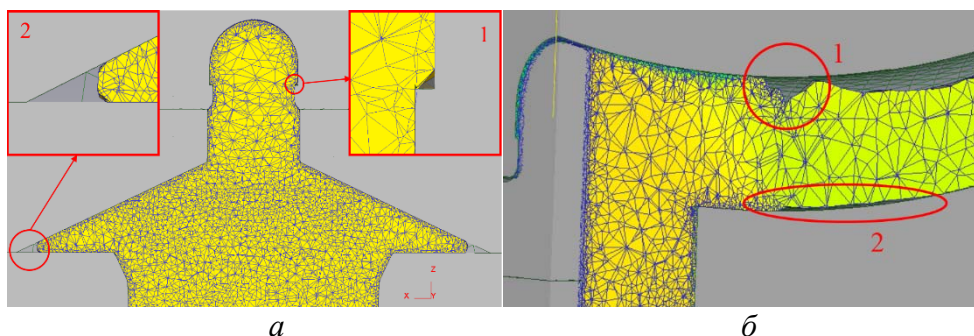


Рис. 4. а – не до конца заполненная форкамера: 1 – мертвые зоны на бурте колеса; 2 – мертвые зоны в острых углах форкамеры; б – складки металла при распрессовке заготовки в желобе колеса

Также в ходе моделирования был установлен интересный факт, который может дать основание для проведения дальнейшего исследования

вероятности затягивания воздуха в очаг деформации при заполнении металлом желоба колеса. На рис. 4, б видно, что при «распрессовке», когда заготовка деформируется и заполняет собой весь желоб колеса, могут образовываться складки (рис. 4, б, 1) и полости (рис. 4, б, 2), в которые гипотетически может попадать воздух. Этим объясняется большой процент окисленной меди при начальной стадии заполнения форкамеры. Если предположить, что эта гипотеза в некоторой степени справедлива и для стационарного режима прессования, то она может объяснять наличие расслоений и пузырей в готовом пресс-изделии.

ВЫВОДЫ

В ходе анализа энергосиловых параметров неустановившегося режима отмечено, что давление металла на пояске матрицы устанавливается постоянным (близким к среднему при стационарном режиме) еще до полного заполнения металлом мертвых зон (рис. 4, а, 2). Это означает, что геометрия и качество отпрессованной шины может быть удовлетворительным еще до расчетного времени заполнения форкамеры. Для проверки гипотезы затягивания воздуха в форкамеру целесообразно провести моделирование установившегося режима прессования при более мелкой сетке конечных элементов во всем объеме заготовки, однако это может повлечь дальнейшее увеличение времени расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов: монография / Ю. В. Горохов [и др.] Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. 268 с.
2. DEFORM-3D modeling in continuous extrusion of copper busbars for installation conform with the pre-chamber matrix / Y. V. Gorohov [et al.] // J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol. 2016, V. 9 (6). P. 821–829.
3. Оптимизация размеров исходной заготовки для непрерывного прессования / В. М. Сергеев [и др.] // Металлы. 1993. № 1. С. 98–102.
4. Katajarinne T. Numerical simulation of flash formation in continuous rotary extrusion of copper / T. Katajarinne, T. Manninen, P. Ramsayc // Journal of Materials Processing Technology. 2006. V. 177. P. 604–607.
5. Virtual design and fabrication of a continuous extrusion setup with process analysis / K. S. Devendra [et al.] // International Journal of Engineering Research & Technology. 2012. V. 1 № 8. P. 1–8.
6. Tatsuya T. Precise extrusion technology by conform process for irregular sectional copper / T. Tatsuya, O. Kazuhiko, T. Saburou // Hitachi Cable Review. 2002. V. 21. P. 77–82.